



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus- ja maaehitusinstituut

Henri Hiiend

PUISTU VANUSE MÄÄRAMISE MEETODITE ANALÜÜS
ANALYSIS OF METHODS OF DETERMINING THE STAND
AGE

Bakalaureusetöö
Metsanduse õppekava

Juhendajad: nooremteadur Eneli Põldveer, *MSc*
professor Henn Korjus, *PhD*

Tartu 2019

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Henri Hiiend		Õppekava: Metsandus	
Pealkiri: Puistu vanuse määramise meetodite analüüs			
Lehekülgi: 28	Jooniseid: 4	Tabeleid: 3	Lisasid: 0
Õppetool: Uurimisvaldkond: Juhendajad: Kaitsmiskoht ja aasta:		Metsakorralduse ja metsatööstuse õppetool Metsakorraldus Eneli Põldveer, Henn Korjus Tartu, 2019	
<p>Puu vanus on metsatakseerimisel ja metsade majandamisel üks olulisemaid tunnuseid. Kasvava puu vanust määratakse enamasti juurdekasvuproovilt puu aastarõngaid lugedes. Puistu vanust on lihtsaim ja täpsem määrata ühevanuselises kultuurpuistus, kus kõik puud on istutatud, külvatud või looduslikult uuenenud enam-vähem samal ajal. Sageli on puistud aga loodusliku tekkeviisiga või puistus esineb hiljem looduslikult juurde tulnud puid, mis raskendab puistu vanuse määramist. Omakorda raskendab puistu vanuse määramist ka asjaolu, et seaduses ei ole otseselt puistuelemendi vanuse definitsiooni.</p> <p>Käesoleva bakalaureusetöö eesmärkideks on võrrelda erinevaid puistu vanuse määramise viise ning tuvastada, kas resitograafia on võimalik hariliku männi, hariliku kuuse ja arukase puistute vanust piisava täpsusega määrata. Töös kasutatud andmed on kogutud puudelt, mis kasvavad kahes loodusliku tekkeviisiga puistus Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükkide 600 ja 595 läheduses. Mõlemalt proovialalt valiti välja 20 juhuslikku puud mida puuriti esmalt resistograafia, neist omakorda kümnel puul võeti ka puursüdamik juurdekasvupuuriga.</p> <p>Tööst selgub, et erinevate meetoditega arvutatud puistu vanused ei erine suurel määral üksteisest ja tõenäoliselt ei ole praegune seadusest tulenev vanuse arvutamise valem põhjendatud, mistõttu võiks puistu vanuse määramisel kasutada traditsioonilist lähenemist. Oluline oleks puistu vanus seaduses selgelt ära defineerida. Lisaks selgus, et puu vanuse määramisel resistograafia võib saada süstemaatiliselt allahinnatud ja ebarealistlikud tulemused.</p>			
Märksõnad: Puu vanus, puistuelemendi vanus, aastarõngad			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Henri Hiiend		Speciality: Forestry	
Title: Analysis of methods of determining the stand age			
Pages: 28	Figures: 4	Tables: 3	Appendixes: 0
Chair:		Forest management planning and wood processing technologies	
Field of research:		Forest management	
Supervisors:		Eneli Põldveer, Henn Korjus	
Place and date:		Tartu, 2019	
<p>The age of trees is one of the most important variables in forest measurement and forest management. The most common way to determine the age of a growing tree is by counting its annual tree-rings from the core sample. It is more evident and easy to determine forest stand age in an even-aged stand because trees are planted or naturally regenerated approximately at the same time. Often in the stands that have regenerated naturally are more complicated to determine the stand age exactly. Also, because of a lack of legislative explanations about stand cohorts it makes harder to have sole determination of stand age.</p> <p>The aim of this paper is to analyse different calculation methods for determining stand age and also to find out how to get sufficiently accurate results for determining the age of Scots pine, Norway spruce and silver birch dominated stands. Data used in this study is collected from the trees of naturally regenerated forest stands near to two permanent sample plots (No. 595 and 600 in the Estonian Network of Forest Research Plots). At first, 20 randomly selected trees were sampled with resistography and secondly, ten trees were simultaneously sampled also by increment borer.</p> <p>The study showed that there is no big difference between the stand age determined by different calculation methods, and therefore the current stand age calculation formula in the forest management regulation is not well justified, the classic determination of stand age is simpler and reliable. It is important that determination of stand age is more clearly stated in the legislation. Study also showed that using resistography in determining the age of a tree gives biased and unrealistic results.</p>			
Keywords: Tree age, cohort age, annual ring			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	7
1.1. Puu vanuse määramine	7
1.2. Puistuelemendi vanus	11
1.3. Puistu vanus	11
2. MATERJAL JA METOODIKA	13
2.1. Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükid	13
2.2. Välitööd	14
2.2.1. Proovitükk 600	14
2.2.2. Proovitükk 595	15
2.3. Laboratoorsed tööd	16
2.4. Puistu vanuse ja puu vanuse määramise metoodika	17
3. TULEMUSED	19
3.1. Puistu vanus	19
3.2. Puu vanuse määramine resistograafia	21
4. ARUTELU	23
KOKKUVÕTE	25
KASUTATUD KIRJANDUS	26

SISSEJUHATUS

Paljud looduslikult uuenenud ja looduslikus seisundis kasvanud puistud on erivanuselised, mis tähendab, et puistus esineb mitmesuguses vanuses puid. Erivanuselisus võib olla tingitud ka näiteks tulekahju või tormi tagajärjel puistus tekkinud kahjustustest ning avalduda isegi puistuelemendi tasemel. Seetõttu on sageli suhteliselt raske määratleda konkreetsete puistute vanust. Puistu vanust saab kõige täpsemalt määrata ühevanuselises kultuurpuistus, kus kõik puud on istutatud, külvatud või looduslikult uuenenud enam-vähem samal ajal (Vaus 2005).

Kuigi ka ühevanuselises puistus pole sageli kõik puud täpselt ühesuguse vanusega, ei arvestata puistu vanuse määramisel puude individuaalse vanuse väikesi erinevusi (West 2009). Enamus riikides määratakse puistu vanus kultiveerimise kuupäeva järgi, kuid on ka riike, kus puistu vanus määratakse seemne külvamise kuupäeva järgi (Sealsamas). Kultuurpuistu vanuse saab üldjuhul teada metsakorralduslikust dokumentatsioonist, kus on kirjas puistu rajamise aeg või puistu vanus eelmise metsakorralduse ajal (Laas jt. 2011).

Puu vanus on metsatakseerimises ja metsade majandamisel väga oluline tunnus. Kui pole teada puu vanust, ei saa ka analüüsida või prognoosida antud puu juurdekasvu või kasvukäiku ega otsustada puistu raievanuse üle. Kasvava puu vanuse määramiseks on mitmeid viise olenevalt puu seisundist ja vanusest, näiteks noortel puudel saab seda teha oksakodarikke loendades ja vanematel puudel puursüdamikult aastarõngaid loendades (Vaus 2005, Palo 2016).

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on võrrelda erinevaid puistu vanuse määramise viise ja selgitada välja, kas puude vanust on võimalik hinnata automaattuvastuse abil resistograafi puurimisprofiililt. Töö esimeses osas antakse ülevaade erinevatest viisidest kuidas puu vanust määrata, puu vanuse määramise vahenditest ning samuti olulisemate puuliikide kasvamise iseärasustest. Lisaks selgitatakse puistuelemendi ja puistu vanuse määramise võimalusi. Materjali ja metoodika osa koosneb välitööde, proovitükkide ning laboratoorse töö kirjeldusest. Kolmandas osas on välja toodud töö tulemused ja neljanda peatüki moodustab arutelu.

Käesolev töö on valminud Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükkidelt kogutud andmetele tuginedes. Töö autor tänab Keskkonnainvesteeringute Keskust ja teisi finantseerijaid ning välitöödel osalejaid, kelle toel on püsiproovitükkide mõõtmised pikaajaliselt toimunud.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

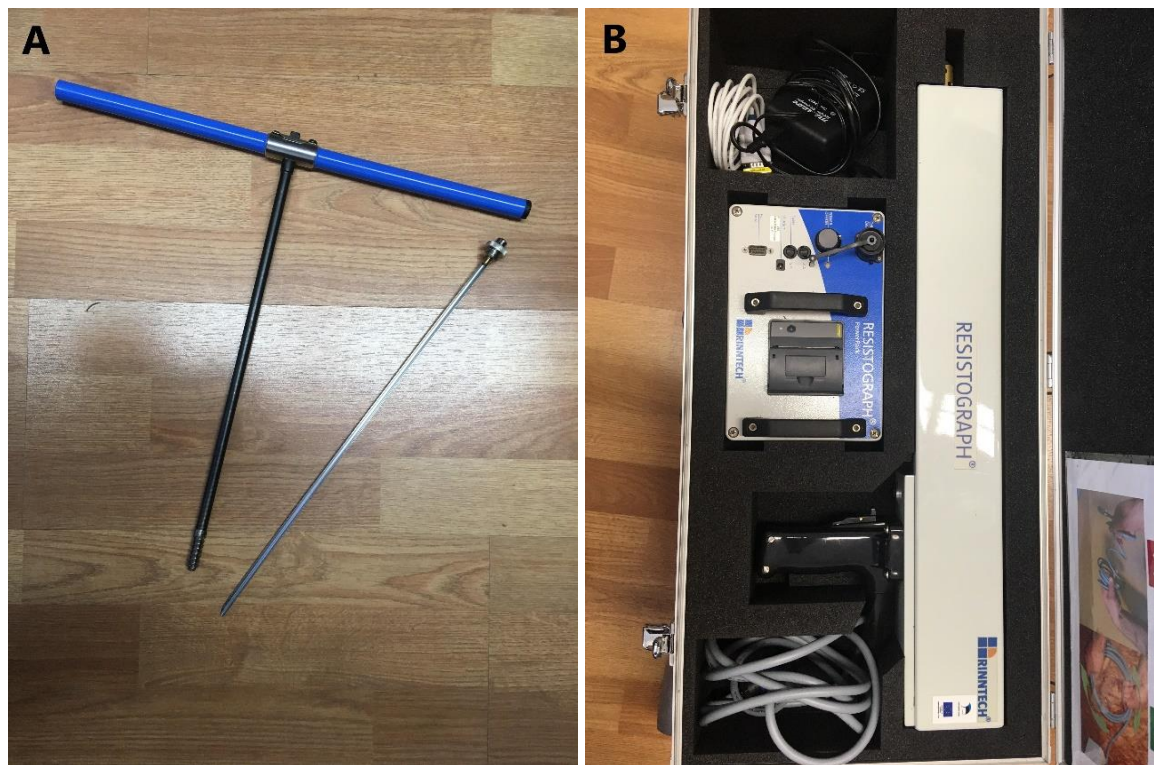
1.1. Puu vanuse määramine

Puu vanus on selle üks olulisemaid tunnuseid. Vanuse mõõtmiseks on aasta ning puu kasvamise alghetkeks on mitmeid võimalusi. Puu kasv võib alata näiteks seemne külvamisest, istiku istutamisest või pistoksa kasutamisest ning puu vanuse algushetkeks loetakse vastava meetodi kasutamise aega (Vaus 2005).

Puu vanuse määramiseks on Metsa korraldamise juhendi (2009) järgi mitu võimalust:

- aastarõngaste arvu järgi värsketel kändudel või juurdekasvu puuriga võetud proovil;
- kuni keskealise männi aastaste kõrguskasvude loendamisel;
- ekspertarvamusena, toetudes kasvukohale, välitunnustele jne;
- kultuurpuistu vanus on teada dokumentatsioonist, kultiveeritud puistuelementide vanus määratakse kultiveerimise aasta järgi.

Puu vanust loetakse enamasti aastarõngastelt. Aastarõngaste täpsemat mõõtmist ja uurimist nimetatakse dendrokronoloogiaks ja puu vanust on sel meetodil võimalik määrata kuni aastase täpsusega. Aastarõngaid saab lugeda kännult, kuid kasvava puu vanuse teada saamiseks kasutatakse üldjuhul juurdekasvupuuri (joonis 1). Juurdekasvupuur koosneb käepidemest, keermetega puuriterast ja nõelast. Puuritera kruvitakse puu südamikku ning lisatakse nõel, millega saadakse kätte puursüdamik, millelt hiljem aastarõngaid loendada. Juurdekasvupuuriga puu vanuse mõõtmine annab usaldusväärse tulemuse ja puu jääb oluliselt kahjustamata. Puursüdamik on silindrikujuline ning olenevalt juurdekasvupuurist läbimõõduga 4 – 12mm. Lisaks peaks puu vanust saama määrata ka modernsete, puid mittekahjustavate mikropuuridega näiteks resistograafi abil (joonis 1).



Joonis 1. Juurdekasvupuur (A) ja resistograaf (B). Allikas: autori fotod.

Tavapärastes tingimustes kasvavatel kõvadel lehtpuudel ning okaspuudel, sh harilikul männil (*Pinus sylvestris*) ja harilikul kuusel (*Picea abies*) on aastarõngad üldiselt hästi nähtavad ning loetavad, halvasti loetavad aastarõngad on peamiselt aga arukasel (*Betula pendula*), harilikul haaval (*Populus tremula*) ja harilikul pärnal (*Tilia cordata*). Väheviljakas kasvukoht võib raskendada aastarõngaste lugemist, kuna sellistes kasvukohtades kasvavate puude aastarõngad on kitsamad, ning esineb aastaid, kui aastarõngast ei moodustu. Puu vanust määrates lisatakse vastavalt puu puurimise kõrgusele tavaliselt ka vanuse parand. Kui puud on puuritud kätteni kõrguselt, lisatakse okaspuudel 3-5 (kuusel kuni 8) aastat, seemnetekkelistel lehtpuudel 1-2 aastat, kuid vegetatiivsel teel uuenenud lehtpuudele vanuse parandit ei lisata (Vaus 2005).

Aastarõngaste loendamise teel määratud puu vanus on seotud suurema või väiksema veaga. Aastarõngaste tekkimist ja läbimõõtu mõjutab ilm. Näiteks puu jaoks ebasoodsa ilmaga võib jääda aastarõngas moodustamata, samas võib soodne kevad ja sügis vaheldumas külma ning põuase suvega tekitada hoopis kaks aastarõngast (Palo 2016). Järgnevalt on loetletud aastarõngaste määramisel esinevaid sagedasemaid anomaaliaid (Speer 2012): osaliselt või täielikult puuduv aastarõngas (moodustumata jäänud aastarõngad tuvastatakse

ristdateerimisega), kiiluv aastarõngas (kiiluv aastarõngas tekib tüveraadiuses kui kambiumi aktiivsus lakkab, aastarõngas muutub tüve ristlõikes piki aastarõngast kitsamaks kuni kaob), vale aastarõngas ehk väärarõngas (esineb juhul kui mõningased piiravad tegurid pidurdavad puu kasvu teatud perioodiks, kuid see hiljem taastub, moodustamata aastarõngad tuvastatakse ristdateerimisega), mikroaastarõngas (on aastarõngas, mis on vaid paar rakurida lai, võimalik avastada kui puidu pind on hästi ette valmistatud ja korralikult lihvitud), hajus aastarõngas (võib juhtuda, et aastarõngaste vahe pole hästi eristatav, selline anomaalia tekib kasvuvabal perioodil) ning külmarõngas (madalast õhutemperatuurist põhjustatud aastarõngas). Lisaks eeltoodud anomaaliatele võivad aastarõngaste loendamist raskendada ka õhusaaste, tulekahju arm, uluki- ja putukakahjustused (Sealsamas).

Aastarõngaid saab enamike puuliikide puhul juurdekasvuproovilt lugeda abivahendeid kasutamata, kuid nende paremaks loendamiseks kasutatakse näiteks läbivalgustamist, röntgeni, luupi, kemikaale jne (Vaus 2005). Laboratoorsetel töödel kasutatakse aastarõngaste võimalikult täpselt loendamiseks LINTAB™ süsteemi koos programmiga TSAP-Win™, sest aastarõngaste loendus on täpsem, kui kasutada töökindlat ning korrektselt aastarõngaste piiri tuvastada võimaldavat süsteemi, lisaks on LINTAB™ ka ergonoomiline ning lihtsasti käsitsetav (Rinntech 2019).



Joonis 2. LINTAB™ süsteem koos TSAP-Win™ programmiga. Allikas: autori fotod.

Lisaks aastarõngaste lugemisele võib puu vanust tuvastada ka dokumentatsioonist. Dokumentatsiooni järgi puu vanuse määramine on täpne, kui puistus ei esine looduslikult uuenenud puid, tegemist pole täiendatud kultuuriga ning kõik puud on üheeaalised (Vaus 2005). Raiesmikele ning endistele põllumajandusmaadele kasvanud puude vanus varieerub enamasti väikestes piirides. Puude vanuse hindamine on võimalik ka puude välise vaatluse järgi. Palo (2016) kirjelduste järgi on see lihtne puude nooremas eas, kui puu diameeter ja kõrgus selle vanust üsna iseloomulikult kirjeldab. Vanemate puude puhul on visuaalne hindamine juba raskendatud, sest puu mõõtmed sõltuvad rohkem valguse ja toitainete kättesaadavusest – näiteks võivad tihedas metsas kasvavad kidurad puud olla samaeaalised nendega, mis kasvavad parema valgustatusega kohas.

Puude vanust on võimalik hinnata ka visuaalselt, omaette uurimisküsimus on, kui täpseks sellist meetodit pidada võib. Palo (2016) annab soovitusel puude vanuse visuaalseks hindamiseks:

- mändide vanust saab nooremas eas loendada oksamännastelt (igal aastal areneb uus tipukasv ning neli külgoxa, kuid seemne idanemiseks kuluvate aastate tõttu tuleb männaste arvule lisada paar aastat täpsema vanuse saamiseks), selline meetod võiks hea valgustatuse korral toimida kuni 30 eluaastani, kuid kui mändid on kasvanud tihedalt, algab umbes 20 aastast tüve laasumine, ehk männi külgoxste suremine;
- kuusk oma aeglase kasvuga saab piisavalt okasmassi kiire juurdekasvu toitmiseks alles 4-6-aastaselt ning võrreldes männiga on kuuse kõrguskasvu halvem loendada nende korrapärase kasvamise tõttu, kusjuures äratuntavad on enamasti paarikümne esimese aasta kasvud. Vanemas eas on aga kuuse vanuse hindamisel abiks kuuse korp, mis algsest tumepruunist aina hallimaks ja krobelisemaks muutub, mille järgi saab tuvastada ka näiteks seda, kas erineva jämedusega kuuskede puhul on tegemist eakaaslastega;
- kask, nagu paljud teised lehtpuud, kasvavad noorelt tihedalt üksteise kõrval ning nende kasv on alguses palju kiirem võrreldes okaspuudega. Niiske ja soe suvi võib noores eas kaasa tuua kuni 3 m juurevõsu ning 1,5 m seemiku kasvu, mis küll hiljem aeglustub. Umbes 30 cm tüveläbimõõt saavutatakse üksikpuude puhul juba paarikümne aastaga, kuid märgade muldadega või tihedates puistutes jäävad tüved üpris kiduraks.

Eesti tingimustes on mänd võimeline elama kuni 400-aastaseks, maksimaalselt 600-aastaseks ja kuusk kuni 250-aastaseks, maksimaalselt 500-aastaseks (Laas 1987) ning arukask üldiselt võimeline elama kuni 120-aastaseks, maksimaalselt 250-aastaseks (Laas 2019).

1.2. Puistuelemendi vanus

Metsa korraldamise juhendis (2009) §12 lõige 1 on kirjas puistuelementide viisi määratavate takseertunnuste kohta, et igale puistuelemendile märgitakse keskmine vanus. Pole aga täpsustatud, millist keskmist vanus silmas peetakse. Näiteks võib puistuelemendi keskmist vanust mõista kui: 1) aritmeetilist keskmist vanust või 2) mahukeskmist vanust ehk puistuelemendi mahult keskmise puu vanust. Kuna Metsa korraldamise juhendi (2009) §12 lõige 4 ütleb, et „Kultiveeritud puistuelementide vanus määratakse kultiveerimise aasta järgi“ ja kui kultuurpuistu rajatakse lausaliselt ühekorraga, võib puistuelemendi vanuseks kultuurpuistus märkida vanimate puude vanuse.

1.3. Puistu vanus

Isegi ühevanuselises looduslikus puistus pole kõik puud täpselt sama vanad, kuid metsanduslikel eesmärkidel väikesi erinevusi puude individuaalsetel vanustel ei arvestata ning puistu vanuseks määratakse aeg, millal enamus uuendusest aset leidis (West 2009). Uuenduse aja saab enamasti teada dokumentatsioonist, istutamise korral on puistu vanus üldiselt teada istutamisandmetest. Eestis kasutatakse istutamiseks kas paljasjuurseid taimi, mis jagunevad 1–2-aastasteks seemikuteks ja 3–4-aastasteks istikuteks või 1–2-aastaseid suletud juurekavaga taimi (RMK 2019). Enamus riikides määratakse puistu vanus istutamise kuupäeva järgi, teaduslikult annab selline kokkulepe adekvaatsema tulemuse kuigi on teada, et puud on vanemad kui istutamisel määratud vanus (West 2009). Osades Euroopa riikides määratakse vanust aga juba seemne külvamise päevast taimlas, kuid külmemates piirkondades kasvavad istikud taimlas kuni kaks aastat (Sealsamas). Seega on seemne külvamise hetkest vanuse kirjeldamine bioloogiliselt täpsem kui kasutada istiku istutamise kuupäeva.

Lisaks istutamisele jäetakse ka märkimisväärne osa Eesti metsadest looduslikule uuenemisele. Looduslikult uuenenud puistu on sageli ebaühtlase vanusega, sest noorde puistusse lisandub enne võrade liitumist pidevalt uusi puid (Kängsepp jt. 2015). Nii looduslikult uuenenud kui uuendatud puistutes tehakse vastavalt metsa vanusele hooldusraieid – valgustus- ja harvendusraieid. Hooldusraied on olulised kindlustamaks, et puistu kujuneks tulevikus võimalikult väärtuslikuks. Hästi hooldatud puistu tähendab ka mitmekümne aasta pärast seda, et uuendatud puistus on puudel ühtlane rinnasdiameeter, kõrgus ja vahekaugus, mis looduslikult uuenenud puistus on siiski ebaühtlasemad (Palo 2016).

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1. Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükid

Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükid (edaspidi proovitükid) jaotatakse sõltuvalt eesmärgist ning katseplaanist seire- ja katsealadeks. Metsaseirealad valitakse välja juhuslikult eesmärgiga koguda andmeid teatud majandusrežiimiga puistute kasvukäikude kohta. Esimesed 200 proovitükki rajati Urmas Petersoni juhtimisel 1995. aastal endiste Aakre ja Kursi metuskondade metsadesse, seda aastat loetakse proovitükkide rajamise algusaastaks (Kangur jt. 2013). 1999. aastal alustati süstemaatilise võrgustiku rajamisega ning proovitükkidel tehakse kordusmõõtmisi viieaastase intervalliga tänaseni (Kiviste jt. 2015). Võrgustikus on tänaseks 1037 proovitükki, millest osasid enam seal tehtud lageraie tõttu ei kordusmõõdetata. Proovitükid rajatakse väljatöötatud metoodika alusel (Kangur jt. 2013, Kiviste jt. 2015) – proovitükid on ringi kujulised, raadiusega 10-30 meetrit, proovitükil paikneb vähemalt 100 esimese rinde puud ning iga puud täpne asukohta puistus on määratakse proovitüki tsentri suhtes (puu kaugus ja asimuut tsentrist), kõikidel proovitükil kasvavatel puudel mõõdetakse rinnasläbimõõt kahes suunas ja hinnatakse ka väliseid kahjustusi puudel.

Puude kasvukeskkonnas toimuvad ajapikku muutused, mille kohta täpsema informatsiooni saamise üheks võimaluseks on näiteks puu aastarõngaste laiuste muutumise lähemalt uurimine. Sellega on Eestis tegeletud alates 2007. aastast, kui hakati proovitükkidelt koguma puursüdamike proove. Hetkeseisuga on Eestis olemas nii männi, kuuse kui ka kase dendroskaalad, mille tarvis koguti vastavalt rohkem kui 1000, 725 ja 705 puursüdamiku proovi. Aastarõngaste laiuse teadasaamiseks mõõdeti proove LINTAB™ süsteemiga ja aastarõngastes sisalduva informatsiooni edasise analüüsi huvides nende seeriad ka ristdateeriti. (Kangur jt. 2013)

2.2. Vältööd

Vältöödeks valiti välja kaks proovitükki eeldusel, et esimeses rindes esineb rohkem kui üks puuliik ning esineb vähemalt üks loodusliku tekkeviisiga puuliik. Puurimised viidi läbi proovitüki vahetus läheduses, kuid mitte proovitükil endal, et mitte tekitada asjatuid kahjustusi puudel, mida monitooritakse. Mõlemalt alalt valiti välja 20 puud juhusliku valiku alusel, mida puuriti resistograafiga, juurdekasvupuuriga puuriti neist omakorda kümmet puud. Lisaks mõõdeti puurimiskõrguselt puurimissuunal ka puu diameeter. Puuritavate puude arv on valitud enam-vähem puistu koossesisuga proportsionaalselt, kuid ühest puuliigist puuritakse vähemalt kaks puud. Vältööd viidi läbi autori ja juhendaja poolt 2018 aasta sügisel.

2.2.1. Proovitükk 600

Proovitükk asub Valga maakonnas, endises Aakre metskonnas, kvartalil AA115. Puistu peapuuliigiks on mänd ning kasvukohatüübiks pohla (joonis 3). Puistus esineb esimeses rindes mändi ning üksikuid kaski ja kuuski, teise rinde moodustavad kuused. Silmamõõduliselt määratud puistu koosseisus oli 95% harilikku mändi, 3% arukaske ja 2% harilikku kuuske. Puistu keskmine rinnasdiameeter on püsiproovitükkide andmestiku alusel 27,2 cm, kõrgus 27,2 m ning vanus 73 aastat. Puistu on loodusliku tekkeviisiga.



Joonis 3. Proovitükk 600. Allikas: Eesti Maaülikooli metsakorralduse ja metsatööstuse õppetooli fotokogu.

Juurdekasvupuuriga võeti proov kaheksalt männilt, ühelt kuuselt ning ühelt kaselt, resistograafia 16 männilt, kahelt kuuselt ja kahelt kaselt.

2.2.2. Proovitükk 595

Proovitükk asub Tartu maakonnas, endises Aakre metskonnas, kvartalil PS017. Puistu peapuuliigiks on mänd ning kasvukohatüübiks jänesekapsa-pohla (joonis 4). Esimeses rindes esineb mändi, kuuske ning kaske, teise rinde moodustavad kuused. Visuaalselt hinnatud puistu koosseis on järgmine – 85% harilikku mändi, 10% arukaske ja 5% harilikku kuuske. Puistu keskmine kõrgus proovitükkide andmetel on 28,3 m ja keskmine rinnasdiameeter on 27,9 cm ning vanus 62 aastat. Puistu on loodusliku tekkeviisiga.



Joonis 4. Proovitükk 595. Allikas: Eesti Maaülikooli metsakorralduse ja metsatööstuse õppetooli fotokogu.

Juurdekasvupuuriga võeti proov seitsmelt männilt, kahelt kaselt ja ühelt kuuselt, resistograafia 14 männilt, neljalt kaselt ja kahelt kuuselt.

2.3. Laboratoorsed tööd

Laboratoorsete tööde eesmärk on võimalikult täpselt määrata puu vanus juurdekasvuproovilt kasutades LINTAB™-i ja programmi TSAP-Win™ ning resistograafi puurimisprofiililt kasutades programmi DECOM™. Aastarõngaste loendamise lihtsustamiseks tuli välitöödelt saadud puursüdamikke kõigepealt lihvida ning alles seejärel sai need fikseerida ja kinnitada alusele ning alustada aastarõngaste loendust. Aastarõngaste loendust alustati puu välisküljelt liigutades puursüdamikuga alust manuaalselt puu südamiku suunas kasutades LINTAB™-i. Süsteemi suurendust ning valgustust kasutades märgistati aastarõngaste piirid, samaaegselt

loendas aastarõngad kokku TSAP-Win™ programm ja andis märgitud piiride põhjal puu vanuse.

Resistograafiga puurides mõõdab puur nõelale mõjuvat takistust puud läbides, näidates puidu üldise tiheduse muutuseid (Rinn jt. 1996). Kuna resistograafide mõjuv takistus on suhteliselt heas korrelatsioonis puidu tihedusega ja seade võimaldab tuvastada puidu tiheduse muutuseid ning kuna kevad- ja sügispuu on erineva tihedusega, võiks resistograaf tuvastada ka aastarõngaid. Resistograafiga leitud tiheduse parameetrid vastavad ka röntgeniga leitud tiheduse graafikutele (Sealsamas), kuid resistograaf on väiksema resolutsiooniga. Väikseim keskmine aastarõnga laius selle identifitseerimiseks on umbes 0,5 mm kuid see sõltub puidu anatoomiast, aastarõnga piirjoonest ja aastarõnga tiheduse eristamisest, mistõttu on tuvastatava aastarõnga laiust raske hinnata (Sealsamas). Laboratoorsesel töödel määrati programmi Decomi™ abil aastarõngad resistograafi puurimisprofiililt automaatse tuvastuse abil, kuid kohati korregeeriti aastarõngaid ka manuaalse tuvastusega.

2.4. Puistu vanuse ja puu vanuse määramise metoodika

Klassikalises metsatakseerimises (Krigul 1972) antakse puistus iga puistuelemendi kohta eraldi vanus, puistu enda vanuseks võetakse enamus- või peapuuliigi vanus, millele ei rakendata mitte mingisugust parandit. Kultuurpuistus on puud ühevanuselised ning vanuse saab määrata dokumentatsiooni või üksikute puude vanuse järgi. Looduslikult tekkinud puistu vanus sõltub uuenemise või raie viisist. Soovitav on lihtpuistu keskmise vanuse kõrval iseloomustada ka vanuse varieerumise ulatust (Sealsamas).

Tänane praktiline metsandus on puistu vanuse ümber defineerinud esimese rinde puistuelementide järgi arvutatuna. Metsa majandamise eeskirja (2006) § 3 kohaselt arvutatakse puistu esimese rinde keskmine vanus järgmise valemiga:

$$A = (\text{koef}_{P11}^2 * A_{P11} + \text{koef}_{P12}^2 * A_{P12} + \dots) / (\text{koef}_{P11}^2 + \text{koef}_{P12}^2 + \dots), \quad (1)$$

kus:

A	Puistu koosseisuga kaalutud vanus
koef_{PI}	Puistuelemendi koosseisukordaja
A_{PI}	Puistuelemendi vanus

Näiteks kui puistu esimese rinde koosseisus on kaks puuliiki: 70% mändi vanusega 100 aastat ja 30% kaske vanusega 60 aastat, siis selle puistu koosseisuga kaalutud keskmiseks vanuseks on 94 aastat.

3. TULEMUSED

3.1. Puistu vanus

Puude vanused proovitükkidel olid varieeruvad, mis on tüüpiline loodusliku tekkeviisiga puistule (tabel 1). Puuliikidest olid esimeses rindes esindatud mänd (enamuspuuliik), kask ja kuusk. Puude vanused varieerusid 46-st kuni 80 aastani. Tabelis 1 on esitatud juurdekasvupuuriga puuritud puude liik, diameeter ja vanus.

Tabel 1. Puude juurdekasvupuurilt loetud vanused proovitükkidel (D – puu diameeter 0,5 meetri kõrguselt, MA – mänd, KU – kuusk, KS - arukask).

Proovitükk 600				Proovitükk 595			
Puu	Liik	D	Vanus	Puu	Liik	D	Vanus
1	KS	30.8	74	1	KS	39.3	52
2	KU	37.5	55	2	KS	37.6	51
3	MA	35.1	72	3	KU	29.4	46
4	MA	33.2	74	4	MA	49.2	60
5	MA	22.7	74	5	MA	24.2	55
6	MA	35.5	74	6	MA	31.8	56
7	MA	24.9	71	7	MA	41.2	59
8	MA	35.4	80	8	MA	32.2	59
9	MA	29.7	78	9	MA	28.3	59
10	MA	35.5	78	10	MA	35.1	58

Tabelist 1 on näha, et mõlemal proovitükil võeti juurdekasvupuuriga puursüdamik kümneelt puult. Proovitükil 600 oli valitud puude seas kaheksa mändi, üks kask ja üks kuusk. Valitud puudest oli kõige vanem 80-aastane mänd ning kõige noorem 55-aastane kuusk, millel oli ka antud puudest kõige suurem diameeter – 37,5 cm. Väikseim diameeter antud proovitüki valitud puudest on 74-aastaselt männil, milleks on 22,7 cm. Proovitükil 595 moodustavad valiku seitse mändi, kaks kaske ning üks kuusk. Valikusse langenud puudest on vanim 60-aastane mänd, millel on ka suurim diameeter – 49,2 cm. Noorim puu on taaskord kuusk vanusega 46 aastat. Väikseim diameeter kuulub 55-aastasele männile, milleks on 24,2 cm.

Tabel 2. Erinevate meetodite alustel arvutatud puistu vanused.

Näitaja	Proovitükk 600	Proovitükk 595
Maksimaalne puu vanus	80.0	60.0
Minimaalne puu vanus	55.0	46.0
Enamuspuliigi aritmeetiline keskmine vanus	75.1	58.0
Ruutkeskmise diameetri järgi arvutatud enamuspuliigi vanus	75.2	58.1
Kõikide puuliikide aritmeetiline keskmine vanus	73.0	55.5
Kõikide puuliikide mahult keskmise puu vanus	72.9	55.6
Puistuelementide aritmeetiliste keskmiste vanuste alusel Metsa majandamise eeskirja (2006) järgi arvutatud puistu vanus	75.1	57.9
Puistuelementide mahult keskmise puu vanuste alusel Metsa majandamise eeskirja (2006) järgi arvutatud vanus	75.2	58.0

Tabelis 2 on välja toodud erinevatel meetoditel arvutatud puistu vanused, andmed puude vanuste kohta on võetud tabelist 1. Proovitükil 600 puuritud puudest vanim on 80-aastane, seega on puistu vanus maksimaalse puu vanuse põhjal 80 aastat ning kõige noorem on 55-aastane, seega on puistu vanus minimaalse puu vanuse põhjal 55 aastat. Samad tunnused proovitükil 595 on vastavalt 60 aastat ja 46 aastat. Mõlemal proovitükil on enamuspuliigiks mänd, mille aritmeetiline keskmine vanus on proovitükkidel vastavalt 75,1 ja 58,0. Samad näitajad suurenevad mõlemad 0,1 aasta võrra, kui kasutada ruutkeskmist vanust. Kui võtta enamuspuliigile lisaks arvesse ka teised proovitükil esinenud esimese rinde puuliigid (kask ja kuusk), saame puistu aritmeetiliseks keskmiseks vanuseks esimesel proovitükil 73,0 aastat ja teisel proovitükil 55,5 aastat. Võrreldes enamuspuliigi aritmeetilise keskmisega on kogu puistu vanus sel meetodil arvutatuna proovitükil 600 2,1 aastat noorem ning proovitükil 595 2,5 aastat noorem. Põhjuseks on see, et proovitükil esines puuritud puude seas kask ja kuuske, mis olid enamuspuliigist nooremad. Näiteks proovitükil 600 kasvav kuusk on üle 15 aasta noorem teistest valikusse jäänud puudest sel alal. Kõikide puuliikide mahult keskmise puu vanuse järgi arvutatud puistu vanus erineb vähe puistu vanusest, mis on arvutatud samade puuliikide aritmeetilise keskmise vanuse järgi, esimesel puhul on nüüd puistu vanus 0,1 aastat noorem ning teisel puhul 0,1 aastat vanem. Kui arvutada puistu vanus aritmeetilise keskmise vanuse põhjal, metsakorralduse juhendi järgi ja kasutades kõiki puuliike, annab see sarnase tulemuse puistu vanusega, mis on arvutatud enamuspuliigi aritmeetilise vanuse põhjal. See on tingitud asjaolust, et metsakorralduse juhendi valemis on

kasutatud igale puuliigile vastavat koosseisukordajat. Koosseisukordaja kasutamise tõttu ei mõjuta enamuspuuliigist erinevate üksikute puude vanus olulisel määral kogu puistu vanust.

3.2. Puu vanuse määramine resistograafia

Töö eesmärgiks oli ka välja selgitada, kas puude vanust saab piisavalt täpselt hinnata ka puid mittepurustava seadmega resistograaf. Tabelis 3 on välja toodud puu vanuse võrdlevad mõõtmistulemused nii juurdekasvupuuriga kui ka resistograafia tehtud mõõtmistel.

Tabel 3. Puude vanuse määramine puursüdamikult aastarõngaid loendades (puur) ja resistograafi puurimisprofiililt (resisto) (D – puu diameeter 0,5 meetri kõrguselt, MA – mänd, KU – kuusk, KS - arukask).

Proovitükk 600					Proovitükk 595				
Puu	Liik	D	Vanus (puur)	Vanus (resisto)	Puu	Liik	D	Vanus (puur)	Vanus (resisto)
1	KS	30.8	74	40	1	KS	39.3	52	4
2	KU	37.5	55	61	2	KS	37.6	51	45
3	MA	35.1	72	58	3	KU	29.4	46	50
4	MA	33.2	74	56	4	MA	49.2	60	56
5	MA	22.7	74	42	5	MA	24.2	55	43
6	MA	35.5	74	46	6	MA	31.8	56	48
7	MA	24.9	71	39	7	MA	41.2	59	60
8	MA	35.4	80	64	8	MA	32.2	59	42
9	MA	29.7	78	47	9	MA	28.3	59	45
10	MA	35.5	78	69	10	MA	35.1	58	52
11	KU	25.7	-	25	11	MA	26	-	44
12	MA	23.6	-	34	12	MA	40.8	-	55
13	MA	31.9	-	50	13	MA	18.9	-	25
14	MA	32.3	-	57	14	MA	37.2	-	43
15	MA	25.5	-	48	15	KU	34.2	-	37
16	MA	28.6	-	54	16	KS	44.3	-	10
17	MA	23	-	31	17	KS	38.3	-	6
18	MA	30.4	-	41	18	MA	48.4	-	53
19	MA	31.7	-	59	19	MA	37.5	-	52
20	KS	36.5	-	26	20	MA	36.6	-	46

Tabel 3 põhjal selgub, et resistograaf hindab puid tegelikust nooremaks (välja arvatud paar erandit). See on põhjustatud resistograafi madalast resolutsioonist, mis ei suuda kõiki aastarõngaid tuvastada. Hindamisel tekkinud vead erinevad üksteisest üsna suures ulatuses.

Suuri probleeme esineb kaskede aastarõngaste määramisel, kus näiteks 39.3 cm diameetriga kasel on resistograaf suutnud tuvastada vaid neli aastarõngast, samuti 38.3 cm ja 44.3 cm diameetriga kaskedel suutis see tuvastada vastavalt kuus ja kümme aastarõngast. Kuna resistograafiga mõõdetud puu vanused erinevad nii suurel määral juurdekasvupuuriga saadud vanustest ning tekkinud viga on süstemaatiline, pole puu vanuse määramine resistograafiga mõistlik.

4. ARUTELU

Puistu vanus on hetkel suhteliselt laialt kasutatav, kuid ebaselgelt määratletud mõiste. Metsa korraldamise juhendis (2009) §12 lõige 1 on kirjas, et puistu vanuse arvutamiseks on vajalik teada puistuelementide keskmist vanust. Samas ei ole toodud välja, millist keskmist vanust on selle nõude all mõeldud. See tekitab olukorra, kus erinevate valemite abil on võimalik saada erinevad puistu vanused. Antud töö üheks eesmärgiks oli arvutada puistu vanus erinevaid puistu vanuse arvutamise meetodeid kasutades ning saadud tulemusi analüüsida. Töö valmimiseks on kogutud andmed kahest loodusliku tekkeviisiga männi enamusega puistust Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükkide 600 ja 595 vahetust lähedusest, kus puu vanuse tuvastamiseks võeti juhuslikkuse alusel kümnele puule juurdekasvupuuriga puursüdamikud.

Töö tulemustest selgus, et esmalt tuleb valida, kas puistu vanust määrata enamuspuuliigi põhiselt või tuleks võtta arvesse kõiki esimeses rindes kasvavaid puuliike. Kõige noorema arvutatud puistu vanuse saab mõlema proovitüki puhul sellisel juhul, kui võtta arvesse kõiki esimese rinde puuliike ning kasutada kas tavalist aritmeetilist keskmist vanust või kõikide puude mahult keskmise puu vanust. Kuna aritmeetiline keskmine vanus ja mahult keskmise puu vanus arvestavad kõikide puuliikide osakaalu antud puistus, on nende meetoditega arvutatud puistu vanus teistest tabelis 2 väljatoodud puistu vanustest üle kahe aasta noorem. See on tingitud asjaolust, et tööks kasutatud proovitükkidel esinenud kaskede ning kuuskede vanused võrreldes enamuspuuliigiga olid tunduvalt nooremad.

Töö tulemustest lähtudes võib väita, et kõige ratsionaalsem viis puistu vanuse määramiseks oleks endiselt traditsiooniline lähenemine (Krigul 1972), kus puistu vanuseks võetakse enamus- või peapuuliigi vanus, millele ei rakendata koosseisust lähtuvat parandit, kuna hetkel seadusest tulenev lähenemine (Metsa majandamise eeskiri 2006), kus kasutatakse erinevate puuliikide puhul koosseisukordajat, ei anna võrreldes teiste puistu vanuse arvutamise meetoditega märkimisväärselt erinevat tulemust. Lisaks kasvab looduslikult uuenenud puistus pidevalt noori puid juurde ning kui puistu vanusele läheneda koosseisukordaja kasutamisega, vähendab see teatud määral puistu vanust kunstlikult. Kuigi

tööst selgub, et isegi kui enamuspuuliigist erinevate puuliikide puud on oluliselt nooremad kui enamuspuuliigi vanus ise, ei mõjuta need puud kogu puistu vanust suurel määral.

Puistu vanust võib aga oluliselt mõjutama hakata eelmisest põlvkonnast pärit puude olemasolu puistus. See saab tulevikus olema omaette küsimus, kas neid puid puistu vanuse arvestamisel arvesse võtta või mitte, sest hetkel on säilik- ja seemnepuude uuendusraie käigus alles jätmine seadusest (Metsaseadus 2006) tulenev praktika, mida minevikus (näiteks 70-100 aastat tagasi) väga intensiivselt ei rakendatud. Ühtepidi on eelmise põlvkonna puud puistus olemas juba varasemast puistu koosseisust ning seetõttu ülejäänud puudest tunduvalt vanemad, mis tõstaks nendega arvestamise käigus märgatavalt kogu puistu vanust. Teisalt on nad siiski parasjagu kasvava puistu osa ja neid tuleks arvesse võtta.

Leian, et kõige olulisem aspekt puistu vanuse määramisel on siiski see, et kuna erinevates allikates, kus on räägitud puistu vanusest või puistuelemendi keskmisest vanusest, peab olema ka täpsustatud, millist keskmist vanust on silmas peetud. See annaks puistu vanuse definitsioonist ühise arusaama.

Töö teiseks eesmärgiks oli selgitada välja, kas puude vanust oleks võimalik hinnata ka resistograafi puurimisprofiililt. Puid mittepurustaval meetodil resistograafiga puurides võiks puude vanuse hindamise protsess olla kiirem, kui seda on juurdekasvupuuri kasutades. Türgi edelaosas Antalya läheduses läbiviidud uuringus (Guller jt. 2012) tuvastati puude aastarõngaid resistograafiga Kreeta männil (*Pinus brutia*) ning uuringu läbiviijatel see põhimõtteliselt ka õnnestus. Käesoleva töö käigus selgus aga, et puurimisprofiililt loetud puu vanused ei klapi puursüdamikelt loendatud vanustega. Tabelis 3 on kõrvutatud nii puursüdamikelt saadud puu vanused kui ka resistograafiga saadud vanused ning selgus, et erinevus tulemuste osas on üpris suur, enamasti hindab resistograaf puid tegelikust nooremaks. Puude nooremaks hindamine on seotud resistograafi madala resolutsiooniga, mis ei suuda tuvastada kõiki aastarõngaid. Eraldi tuleb tabelist 3 välja ka probleem kaskede vanuse hindamisel, kuna need tulemused erinevad teiste puuliikide tulemustest hoopis suuremal määral. Kase puidu puhul ei ole tiheduse muutuseid kevad- ja sügispuidu vahel nii suured, et resistograaf aastarõngaid korrektselt tuvastada suudaks. Kase puhul ei ole probleem ilmselt ainult aastarõngaste automaatse tuvastamise algoritmis, vaid kasepuidu iseärasuste tõttu ei ole mõistlik kase vanuse määramiseks resistograafi üldse kasutada.

KOKKUVÕTE

Bakalaureusetöös on kasutatud erinevaid meetodeid, et arvutada puistu vanus ning saadud tulemusi on omavahel võrreldud. Kuna hetkel puistu vanuse ning selle määramise kohta kasutusel olevad terminid pole üheselt mõistetavad, saab puistu vanuse määramisele läheneda mitut moodi. Erinevate meetoditega puistu vanuse arvutamine annab ka erinevad tulemused. Bakalaureusetöö eesmärgiks oli teada saada, kas ja kui palju saadud tulemused üksteisest erinevad. Tööst selgub, et erinevate meetoditega arvutatud puistu vanused ei erine suurel määral üksteisest ja tõenäoliselt ei ole praegune seadusest tulenev vanuse arvutamise valem põhjendatud ning puistu vanuse määramisel võiks kasutada traditsioonilist lähenemist. Kuid oluline oleks seaduses puistu vanus selgelt ära defineerida.

Lisaks oli bakalaureusetöö eesmärgiks uurida, kas puude vanust on võimalik hinnata puid mittepurustava mikropuuriga resistograaf, mis oleks mugavam ning kiirem lahendus võrreldes juurdekasvupuuriga. Selgus aga, et resistograafiga puurimisel saadavad puu vanused erinevad oluliselt nendest vanustest, mis on saadud juurdekasvupuuriga. Samuti ei suuda resistograaf eristada kase aastarõngaid, seega ei ole puu vanuse hindamine antud meetodit kasutades mõistlik.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Guller, B., Guller, A., Kazaz, G.** (2012). Is resistograph an appropriate tool for the annual ring measurement of pinus brutia? – *Czech Society for Nondestructive Testing NDE for Safety*, Tšehhi, Seč & Chrudimi, pp. 89–94.
- Kangur, A., Laarmann, D., Hordo, M., Sims, A., Korjus, H., Lilleleht, A., Kiviste, A.** (2013). Kasvukäigu püsiproovitükkide väärtus puistu kasvu kirjeldamisel. – *Eesti Mets*. Nr 4, lk 42–48.
- Kiviste, A., Hordo, M., Kangur, A., Kardakov, A., Laarmann, D., Lilleleht, A., Metslaid, S., Sims, A., Korjus, H.** (2015). Monitoring and modeling of forest ecosystems: the Estonian Network of Forest Research Plots. *Metsanduslikud uurimused = Forestry studies*. Vol. 62, pp. 26–38. <http://doi.org/10.1515/fsmu-2015-0003>
- Krigul, T.** (1972). Metsatakseerimine. Tallinn: Valgus. 359 lk.
- Kängsepp, V., Kangur, A., Kiviste, A.** (2015). Looduslikult uuenenud lehtpuuenamusega noorte segapuistute kõrgusjaotuse dünaamika Järvselja püsikatsealadel. *Metsanduslikud uurimused = Forestry studies*. Vol. 63, pp. 100–110. <http://doi.org/10.1515/fsmu-2015-0011>
- Laas, E.** (1987). Dendroloogia. Tallinn: Valgus. 824 lk.
- Laas, E.** (2019). Dendroloogia ja pargindus. Tartu: Atlex. 640 lk.
- Laas, E., Uri, V., Valgepea, M.** (2011). Metsamajanduse alused. Õpik kõrgkoolidele. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus. 862 lk.
- Metsa korraldamise juhend** (2009). *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/13124148> (20.04.2019)
- Metsa majandamise eeskiri** (2006). *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/115122017017> (30.10.2018)
- Metsaseadus** (2006). *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/113032019061> (20.04.2019)
- Palo, A.** (2016). Eesti metsad. Tallinn: Varrak. 222 lk.
- Rinn, F., Schweingruber, F.-H., Schär, E.** (1996). Resistograph and X-Ray Density Charts of Wood. Comparative Evaluation of Drill Resistance Profiles and X-ray Density Charts of Different Wood Species. – *Holzforschung*. Vol. 50, No. 4, pp. 303–311.
- Rinntech** (2019). LINTAB™. <http://www.rinntech.de/content/view/16/47/lang.english/> (10.05.2019)
- RMK** (2019). Nõuandeid metsauuendamiseks. <https://www.rmke.ee/metsa-majandamine/taimed/nouandeid-metsauuenduseks> (26.05.2019)

- Speer, J., H.** (2012). Fundamentals of Tree-Ring Research. Tucson: The University of Arizona Press. 360 p.
- Vaus, M.** (2005). Metsatakseerimine. Tartu: Halo Kirjastus. 178 lk.
- West, P., W.** (2009). Tree and forest measurement. Second Edition. Lismore: Southern Cross University. 191 p.

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Henri Hiiend,
sünniaeg 22.01.1995,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

Puistu vanuse määramise meetodite analüüs,

mille juhendajad on Eneli Põldveer ja Henn Korjus,

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(allkiri)

Tartu, _____
(kuupäev)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)